2004 年 4 月
25 卷 2 期:191-195

地 球 学 报
ACTA GEOSCIENTICA SINICA

Apr. 2004
25(2):191-195

# 东天山三岔口铜矿区矿化岩体 SHRIMP U-Pb 年代学及锶同位素地球化学特征研究

李华芹　陈富文　路远发　杨红梅　郭　敬　梅玉萍

(中国地质调查局宜昌地质矿产研究所,湖北 宜昌,443003)

**摘　要**　锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及全岩和含矿石英脉锶同位素组成研究表明,东天山三岔口铜矿区矿化斜长花岗斑岩的岩浆侵位年龄为 278±4 Ma(95%可信度),即成岩成矿时代为早中二叠世;矿化斜长花岗斑岩、英云闪长(玢)岩及含矿石英脉的$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 在测定误差内一致,介于 0.70370～0.70437 之间,而计算得到的 $\varepsilon_{Sr}(t)$ 值变化于 −8.5～+2.7 之间。锶同位素组成特征表明,成矿岩体为典型的 I 型花岗岩,可能是幔源火山岩或上地幔物质部分熔融的产物。

**关键词**　三岔口铜矿　SHRIMP U-Pb 年代学　锶同位素特征　东天山

## Zircon SHRIMP U-Pb Age and Strontium Isotopes of Mineralized Granitoids in the Sanchakou Copper Polymetallic Depoist, East Tianshan Mountains

LI Huaqin　CHEN Fuwen　LU Yuanfa　YANG Hongmei　GUO Jing　MEI Yuping

(*Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Yichang, Hubei*, 443003)

**Abstract**　Zircon SHRIMP U-Pb dating and strontium isotope analyses of granites and copper-bearing quartz veins show that the mineralized plagiogranite porphyry in the Sanchakou deposit of East Tianshan Mountains has an emplacement age of 278±4 Ma(95% Conf.), which means that the rock-forming and ore-forming event took place during early-middle Permian. The $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ values of mineralized plagiogranite porphyry, tonalite(porphyry) and copper-bearing quartz veins are consistent in test errors, ranging from 0.70370 to 0.70437, and the calculated $\varepsilon_{Sr}(t)$ values vary from −8.5 to +2.7, showing that the mineralized intrusions are I-type granitoids and might have been derived from the upper mantle.

**Key words**　Sanchakou deposit　SHRIMP U-Pb age　strontium isotopes　East Tianshan Mountains

## 1　矿床地质特征

三岔口铜矿床位于觉洛塔格构造-岩浆带中段北缘,北以康古尔深大断裂为界,南以阿其克库都克深大断裂与塔里木北缘活动带相邻(图 1)。区内构造线呈 EW 向展布,以断裂构造为主。其中,三岔口断裂($F_7$)是康古尔塔格-黄山-镜儿泉断裂($F_8$)的次一级分支断裂,横贯整个矿区,总体走向 70°～75°,南倾,倾角 70°～80°(图 2),是多期岩浆的侵入通道。

矿区出露的地层自老到新有下石炭统干洞组、中石炭统梧桐窝子组和中新统桃树组。干洞组分布较广,是矿区出露的主要地层,呈残留体存在于岩体中,为一套浅变质的石英砂岩、粉砂岩、板岩和石英岩等;梧桐窝子组在区内整合于干洞组之上,由角斑质、石英角斑质和安山质凝灰岩、细碧岩等组成,其上被桃树组红色碎屑岩所覆盖。

区内岩浆侵入活动频繁,其中三岔口复式岩体与成矿关系密切,出露面积约 65 $km^2$。铜矿体产于第二期侵入的斜长花岗斑岩体的边缘相中($F_7$ 断层以北),长 18 km,宽 0.1～1.5 km,由斜长花岗斑岩和斜长花岗闪长岩组成。

三岔口矿区目前已圈出工业铜矿体 35 个,主要赋存于三岔口复式岩体北边缘相带斜长花岗斑岩

本文由国家重点基础研究发展规划项目(编号:G1999043201 和 2001CB40910)及国家科技攻关计划"新疆优势矿产资源勘查综合研究"(编号:2001BA609A-07-18)资助。

责任编辑:宫月萱。

第一作者:李华芹,男,1940 年生,研究员,从事同位素地球化学研究。

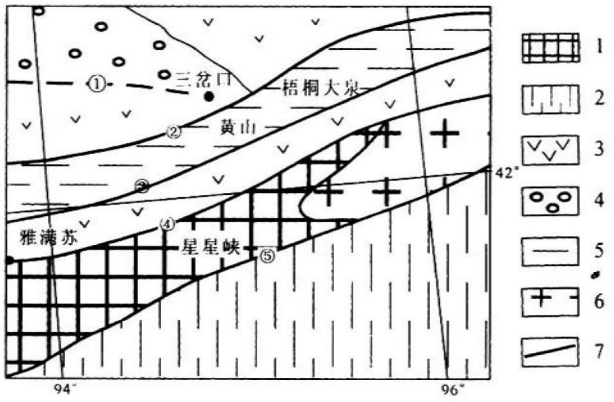


图 1 三岔口地区地质简图

Fig. 1 Sketch map of the Sanchakou area in the Eastern Tianshan Mts.

1-前寒武系;2-古生代裂陷盆地沉积;3-晚古生代火山岩;4-中新生界;5-晚古生代深海洋盆沉积;6-古生代花岗岩;7-断裂及推断断裂;①-吐-哈盆地南缘大断裂;②-康古尔深大断裂;③-苦水大断裂;④-阿奇克库都克深大断裂;⑤-中天山南缘断裂

1-Precambrian basements; 2-Paleozoic rift deposits; 3-Late Paleozoic volcanic rocks; 4-Middle-Cenozoic deposits; 5-Late Paleozoic deep-sea deposits; 6-Paleozoic granites; 7-faults: ①-southern margin fault of the Tulufan-Hami basin; ②-Kangguer fault; ③-Kushui fault; ④-Aqikekudouke faule; ⑤-southern margin fault of the Middle Tianshan Mountains

中,受断裂破碎带控制。其中,I 号矿体位于岩体东段,与围岩呈渐变关系,由浸染状矿石构成,单个矿体多为透镜状,倾向南,倾角 43°,矿石矿物以黄铜矿为主,其次为黄铁矿、硫化物少见,近矿围岩蚀变以绢云母化和硅化为主,并叠加有绿泥石化和绿帘石化;II 号矿体位于斜长花岗斑岩带近中部,由十余个大小不等的透镜体、脉状矿体构成,倾向南,倾角 40°,矿体与围岩呈渐变过渡关系,以浸染状和细脉状矿石为主,主要含铜矿物为黄铜矿,近矿围岩蚀变也以绢云母化和硅化为主,并叠加有绿泥石化和绿帘石化;III 号矿体位于斜长花岗斑岩体中部,透镜状,长轴为近 EW 向,倾向南,倾角约 45°,地表岩石破碎裂隙中见薄膜状孔雀石,近矿围岩蚀变主要是弱黑云母化、绿泥石化,地表见褐铁矿化和孔雀石化;IV 号矿体呈透镜状东西延伸,倾向南,倾角 35° 左右,矿体规模较小,围岩蚀变为绿泥石化、绢云母化及硅化,矿石矿物主要为黄铜矿和辉钼矿;V 号矿体位于 IV 号矿体下部,规模较大,东西向延伸约 1 000 m,倾向南,倾角 40°,主要为细脉状和浸染状,矿体与围岩呈渐变过渡关系,矿体埋深 340～570 m,厚 3～34 m,矿体平均品位铜为 6.394%,钼为 0.013%,近矿围岩蚀变以绢云母化和绿泥石化为

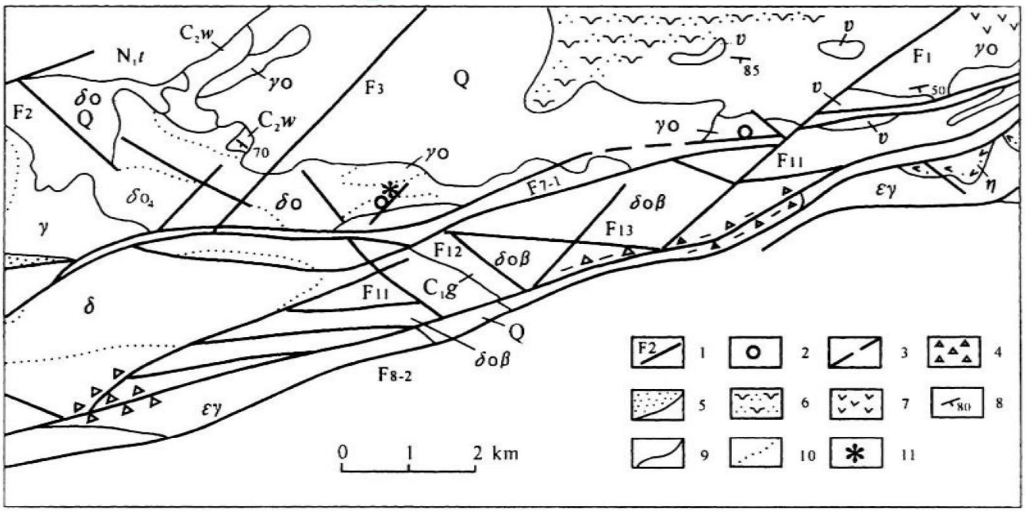


图 2 哈密三岔口铜矿地质略图(据朗智君等,1990,简化)

Fig. 2 Sketch geological map of the Sanchakou copper deposit (after Lang Zhijun et al., 1990)

Q-第四系;$N_1t$-中新统桃树村组;$C_2w$-中石炭统梧桐窝子组;$C_1g$-下石炭统干洞组;ξγ-碱长花岗岩;γ-二云母花岗岩;η-二长岩;δoβ-英云闪长岩;δo-石英闪长岩;δ-闪长岩;γo-斜长花岗斑岩;υ-角闪辉长岩;1-断裂及编号;2-铜矿;3-推测断裂;4-角砾岩带;5-角岩;6-角斑岩;7-安山岩;8-岩层产状;9-地质界线;10-岩相界线;11-采样位置

Q-Quaternary; $N_1t$-Miocene Taoshucun Fm.; $C_2w$-Middle Carboniferous Wutongwozi Fm.; $C_1g$-Early Carboniferous Gandong Fm.; ξγ-alkaili granite; γ-two-mica granite; η-monzonite; δoβ-tonalite; δo-quartz diorite; δ-diorite; γo-plagiogranite porphyry; υ-evjite; 1-faults and their number; 2-copper spots; 3-speculated faults; 4-brecciated zone; 5-hornfels; 6-keratophyre; 7-andesite; 8-occurrence of beds; 9-geological lines; 10-boederline of lithofacies; 11-sampling position

主,矿石矿物为黄铜矿和辉钼矿;VI 号矿体位于 IV、V 号矿体上部,接近地表,是矿区目前所发现的规模最大的地表矿体,走向约 85°,倾向南,倾角 50°,走向延伸 410 m。矿体产于 NW 与 NE 向两组断裂的交汇处,受断裂破碎带控制,在矿体中常见有后期含铜石英脉、网脉贯入,金属硫化物主要是辉铜矿和黄铜矿,矿体围岩蚀变以以绢云母化和硅化为主,叠加有黑云母化与高岭土化等。

## 2　样品采集及测试方法

SHRIMP 锆石 U-Pb 定年样品采自三岔口铜矿区北侧斜长花岗斑岩体边缘相,岩石呈灰白色,具块状构造和斑状花岗结构。矿物成分由斜长石、石英及黑云母等组成,镜下观察具较强的蚀变。在岩石学和矿物学研究基础上,从岩石中选出晶形完好的锆石用于 SHRIMP U-Pb 定年;锶同位素测定样品采自与定年样品相同部位的斜长花岗斑岩及临近的英云闪长岩和含矿石英脉。

斜长花岗斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年方法采用宋彪等(2002)所报道的流程。首先在双目镜下挑选出晶形完好、具有代表性的锆石颗粒和标准锆石(TEM)一起粘贴在环氧树脂表面,然后抛光镀金,在 SHRIMP 同位素分析之前,对待测锆石样品进行透射光和反射光显微照相。锆石微区原位 U-Pb 同位素分析在北京离子探针中心的 SHRIMP Ⅱ 离子探针上进行,对测定结果用标准物质对铀含量和年龄作了校正;全岩和石英矿物锶同位素组成的测定采用李华芹等(1998)所报道的流程。Rb-Sr 同位素分析在 Finnigan MAT-261 可调多接收固体质谱计上进行。用国际标准物质 NBS607 和 Rb-Sr 同位素分析国家一级标准物质 GBW0411 监控分析流程,全部化学操作均在净化实验室内完成。与样品同时测定的 Rb-Sr 全流程空白为 0.3 mg。当样品 Rb-Sr 含量低于 $10^{-6}$量级水平时,均做了空白校正。

## 3　测定结果

三岔口铜矿区斜长花岗斑岩的 SHRIMP U-Pb 同位素年龄分析结果见表 1。所分析的锆石颗粒为透明的自形晶体,具结晶环带,属岩浆成因锆石。其中,13 个分析点的$^{206}Pb/^{238}U$ 和$^{207}Pb/^{235}U$ 比值在测定误差范围内一致。由于年轻锆石一般无铅丢失,且$^{207}Pb$ 的积累较少,$^{207}Pb/^{235}U$ 比值年龄误差较大,故取$^{206}Pb/^{238}U$ 比值年龄的加权平均值作为所测锆石的年龄(A3.1 号分析点显示出明显的 Pb 丢失,导致 U-Pb 年龄明显偏低),即三岔口复式岩体第二次侵入的斜长花岗斑岩的结晶年龄为 278 ± 4 Ma(95% 置信度;图 3)。

三岔口矿区斜长花岗斑岩、英云闪长(玢)岩和含矿石英脉的锶同位素测定结果列于表 2,3,4 中。其$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 和 $\varepsilon_{Sr}(t)$ 值分别展布在 0.7037 ~ 0.7044和 −8.5 ~ +2.7 之间,岩体和矿体的锶同位素组成在测定误差范围内一致,显示出成矿岩体具典型的 I 型花岗岩的锶同位素特征,同时说明成矿作用与三岔口复式岩体密切相关。

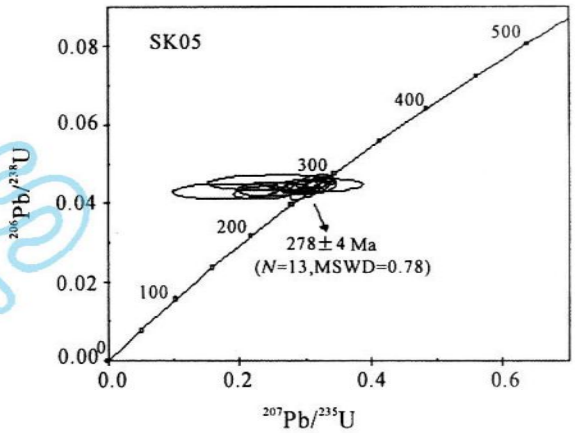


图 3　三岔口铜矿锆石 U-Pb 和谐曲线图

Fig.3　Concordia plot of Zircon SHRIMP U-Pb data of the Sanchakou plagiogranite-porphyry

## 4　讨论与结论

关于三岔口铜矿的形成时代和矿床成因,目前尚有两种不同观点:韩春明等(2002)和秦克章等(2002)通过对东天山铜多金属矿床成矿系列研究,提出三岔口铜矿属于晚泥盆世—早石炭世延东-土屋-三岔口与中酸性岩浆侵入活动有关的铜金成矿亚系列,即成矿时代可能为晚泥盆或早石炭世,矿床类型为斑岩型,成矿构造背景为板块汇聚晚期阶段陆缘挤压环境;朗智君等(1992)和孙燕等(2002)根据三岔口铜矿区矿化斜长花岗斑岩体的全岩-矿物 Rb-Sr 等时线(276 Ma)和矿石铅模式年龄(245 Ma),认为三岔口铜矿的形成时代为早-中二叠世,并据该矿床所处大地构造位置及矿床地球化学特征认为该矿床与中深成相斜长花岗斑岩有关,成因类型为热液交代-充填型。基于上述斜长花岗斑岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(278 ± 4 Ma)与前人所获得的全岩-矿物 Rb-Sr 等时线年龄(276 Ma)在测定误差范围内一致,本文认为三岔口铜矿的成岩成矿

**表 1 三岔口铜矿区斜长花岗斑岩锆石 SHRIMP 测年数据**

**Table 1 Zircon SHRIMP U-Pb data of the Sanchakou plagiogranite-porphyrySpot**

| 测点 | $^{206}Pb/\%$ | $U/\times10^{-6}$ | $Th/\times10^{-6}$ | $^{232}Th/^{238}U$ | $^{206}Pb/\times10^{-6}$ | $^{206}Pb/^{238}U$Age | $^{207}Pb^{*}/^{235}U$ | $^{206}Pb^{*}/^{238}U$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1.1 | 0.49 | 1790 | 1368 | 0.79 | 70.7 | 288.4±7.1 | 0.318±3.2 | 0.0458±2.5 |
| A2.1 | 6.11 | 962 | 514 | 0.55 | 39.1 | 280.2±7.2 | 0.318±14 | 0.0444±2.6 |
| A3.1 | 0.87 | 475 | 613 | 1.33 | 15.0 | 230.6±6.1 | 0.261±7.1 | 0.0364±2.7 |
| A4.1 | 0.61 | 1006 | 500 | 0.51 | 38.9 | 282.4±7.0 | 0.312±3.7 | 0.0448±2.5 |
| A5.1 | 2.83 | 1089 | 1090 | 1.03 | 42.4 | 277.5±6.9 | 0.318±5.8 | 0.0440±2.5 |
| A7.1 | 3.18 | 828 | 373 | 0.47 | 32.3 | 277.2±7.0 | 0.299±7.8 | 0.0439±2.6 |
| A8.1 | 0.72 | 1173 | 658 | 0.58 | 43.2 | 268.8±6.7 | 0.296±4.4 | 0.0426±2.6 |
| A9.1 | 1.23 | 471 | 214 | 0.47 | 18.1 | 278.9±7.1 | 0.304±5.8 | 0.0442±2.6 |
| A10.1 | 5.03 | 550 | 287 | 0.54 | 21.6 | 274.6±7.1 | 0.250±14 | 0.0435±2.6 |
| A11.1 | 1.52 | 1003 | 488 | 0.50 | 38.4 | 277.3±7.0 | 0.292±5.8 | 0.0440±2.6 |
| A12.1 | 3.5 | 250 | 129 | 0.53 | 9.59 | 271.6±7.6 | 0.179±30 | 0.0430±2.9 |
| A13.1 | 1.07 | 852 | 422 | 0.51 | 33.6 | 286.1±7.2 | 0.315±5.9 | 0.0454±2.6 |
| A14.1 | 6.69 | 929 | 433 | 0.48 | 38.7 | 285.0±7.8 | 0.249±26 | 0.0452±2.8 |
| A15.1 | 2.65 | 350 | 232 | 0.69 | 13.2 | 269.5±7.0 | 0.236±13 | 0.0427±2.7 |

注:表中单点年龄误差为 16;普通铅用测定的$^{204}Pb$进行了校正。

**表 2 三岔口铜矿区斜长花岗斑岩 Rb-Sr 同位素测定结果**

**Table 2 Rb-Sr data of the Sanchakou plagiogranite-porphyry**

| 样号 | 样品名称 | $w(Rb)/\times10^{-6}$ | $w(Sr)/\times10^{-6}$ | $^{87}Rb/^{86}Sr$ | $^{87}Sr/^{86}Sr(\pm2\sigma)$ | $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ | $\varepsilon_{Sr}(t)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SK4-1 | 斜长花岗斑岩 | 7.991 | 818.1 | 0.02815 | 0.70404±0.00004 | 0.70393 | −3.5 |
| SK4-2 | 斜长花岗斑岩 | 5.861 | 677.1 | 0.02495 | 0.70380±0.00005 | 0.70370 | −6.7 |
| SK4-2 | 斜长花岗斑岩 | 11.83 | 635.9 | 0.05361 | 0.70412±0.00001 | 0.70391 | −3.8 |
| SK4-6 | 斜长花岗斑岩 | 5.509 | 688.3 | 0.02307 | 0.70391±0.00004 | 0.70382 | −5.0 |
| SK4-7 | 斜长花岗斑岩 | 8.221 | 758.2 | 0.03125 | 0.70385±0.00002 | 0.70373 | −6.3 |
| SK4-8 | 斜长花岗斑岩 | 5.148 | 705.2 | 0.02103 | 0.70399±0.00004 | 0.70391 | −3.8 |

**表 3 三岔口铜矿区英云闪长岩 Rb-Sr 同位素测定结果**

**Table 3 Rb-Sr data of the Sanchakou tonalite**

| 样号 | 样品名称 | $w(Rb)/\times10^{-6}$ | $w(Sr)/\times10^{-6}$ | $^{87}Rb/^{86}Sr$ | $^{87}Sr/^{86}Sr(\pm2\sigma)$ | $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ | $\varepsilon_{Sr}(t)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SK2-4 | 英云闪长岩 | 15.35 | 773.7 | 0.05717 | 0.70441±0.0003 | 0.70418 | 0.2 |
| SK2-5 | 英云闪长岩 | 8.099 | 1138 | 0.02053 | 0.70406±0.0001 | 0.70398 | −2.8 |
| SK2-6 | 英云闪长岩 | 7.275 | 678.3 | 0.03091 | 0.70440±0.0004 | 0.70428 | 1.6 |
| SK2-11 | 英云闪长岩 | 21.25 | 697.7 | 0.08779 | 0.70459±0.0001 | 0.70424 | 1.0 |
| SK2-13 | 英云闪长岩 | 8.23 | 1109 | 0.0214 | 0.70445±0.0001 | 0.70437 | 2.7 |
| SK2-1 | 英云闪长岩 | 24.38 | 726.5 | 0.0967 | 0.70431±0.00001 | 0.70393 | −3.5 |
| SK2-12 | 英云闪长岩 | 14.29 | 736.6 | 0.0559 | 0.70397±0.00001 | 0.70375 | −6.0 |
| SK2-7 | 英云闪长岩 | 6.001 | 1149 | 0.01505 | 0.70371±0.00000 | 0.70365 | −7.4 |

表 4　三岔口铜矿含矿石英脉 Rb-Sr 同位素测定结果

Table 4　Rb-Sr data of copper-bearing quartz veins from the Sanchakou mine

| 样号 | 样品名称 | $w(Rb)/10^{-6}$ | $w(Sr)/10^{-6}$ | $^{87}Rb/^{86}Sr$ | $^{87}Sr/^{86}Sr(\pm 2\sigma)$ | $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ | $\varepsilon_{Sr}(t)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SK5-1 | 石英 | 0.1039 | 22.56 | 0.01327 | 0.70385±0.00002 | 0.70380 | −5.3 |
| SK5-2 | 石英 | 0.114 | 22.66 | 0.0145 | 0.70382±0.00004 | 0.70376 | −5.8 |
| SK5-4 | 石英 | 0.02397 | 2.336 | 0.02957 | 0.70404±0.00003 | 0.70392 | −3.5 |
| SK5-5 | 石英 | 0.01619 | .8119 | 0.05748 | 0.70428±0.00004 | 0.70405 | −1.7 |
| SK5-7 | 石英 | 0.03877 | 43.64 | 0.00256 | 0.70422±0.00005 | 0.70421 | 0.5 |
| SK5-8 | 石英 | 0.02128 | 2.362 | 0.02597 | 0.70395±0.00004 | 0.70385 | −4.6 |
| SK5-9 | 石英 | 0.03952 | 11.92 | 0.009551 | 0.70361±0.00006 | 0.70357 | −8.5 |

注:计算 $\varepsilon_{Sr}(t)$和$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 所使用参数:$(^{87}Sr/^{86}Sr)UR=0.7045$;$(^{87}Rb/^{86}Sr)_{UR}=0.0827$,$t=278$ Ma

时代为早-中二叠世;根据 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄计算的岩体及矿体锶同位素组成和 $\varepsilon_{Sr}(t)$分别展布在 0.70370～0.70437 和 −8.5～±2.7 之间,锶同位素组成特征表明成矿岩体为典型的 I 型花岗岩,可能是幔源火山岩或上地幔物质部分熔融的产物。同时,成矿岩体和矿体的锶同位素组成在测定误差范围内一致,结合铜(钼)矿体均赋存于岩体边缘相带中,并受其断裂破碎带控制,矿石以脉状、细脉、网脉状及浸染状为主,说明三岔口铜矿明显具有岩浆热液成矿的特点,成矿作用与矿区内复式花岗岩体的侵位密切相关,成矿环境可能为造山期后伸展构造阶段。

**致谢**　陈毓川院士和刘德权教授级高级工程师在矿区野外地质调查期间曾给予指导,特表示衷心感谢!

## 参 考 文 献

朗智君,师波,李天德.1992.新疆哈密三岔口铜矿成因讨论.新疆地质,10(3):244～255.

宋彪,张玉海,万渝生等.2002.锆石 SHRIMP 样品靶制作,年龄测定及有关现象讨论.地质论评,48(Sup.):26～30.

李华芹,谢才富,常海亮等.1998.新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学.北京:地质出版社.

韩春明,毛景文,杨建民等.2002.新疆东天山铜及其多金属矿床成矿系列研究.矿床地质,21(Sup.):125～127.

秦克章,孙枢,李继亮等.2002.北疆古生代矿床组合的六大构造阶段划分及其意义.矿床地质,21(Sup.):203～206.

孙燕,唐菊兴,慕纪录.2002.新疆三岔口铜矿床地球化学特征及成因.矿床地质,21(Sup.):459～462.

## References

Lang Zhijun, Shi Bao, Li Tiande. 1992. Discussion on origin of the Sanchakou copper deposit, Hami, Xinjiang. Xinjiang Geology, 10(3): 244～255(in Chinese).

Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng et al. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. Geological Review, 48(Sup.): 26～30(in Chinese with English abstract).

Li Huaqin, Xie Caifu, Chang Hailiang et al. 1998. Study on metallogenetic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in Northern Xinjiang, China. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).

Han Chunming, Mao Jingwen, Yang Jianming et al. 2002. Research on metallogenic series of copper-polymetallic deposits in East Tianshan Mountains. Mineral Deposits, 21(Sup.): 125～127(in Chinese with English abstract).

Qin Kezhang, Sun Shu, Li Jiliang et al. 2002. Division of six tectonic stages of major metallic deposits in Northern Xinjiang and its implications. Mineral Deposits, 21(Sup.): 203～206(in Chinese with English abstract).

Sun Yan, Tang Juxing, Mu Jilu. 2002. Genesis and geochemistry characteristics of copper deposits in Sanchakou, Xinjiang. Mineral Deposits, 21(Sup.): 459～462(in Chinese with English abstract).